Die spektrale Energieverteilung der Röntgen-Bremsstrahlung dünner Antikathoden in Abhängigkeit von Ordnungszahl und Röhrenspannung

(Auszug)

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der hohen Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Julius-Maximilians-Universität
zu Würzburg

Vorgelegt von:
Diplom-Physiker
Hermann Amrehn
aus Würzburg

Referent: Prof. Dr. H. Kulenkampff

Würzburg 1954

Tag der mündl. Prüfung:

26. Mai 1954

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Druck: Konrad Triltsch, Druck- und Verlagsanstalt, Würzburg

Einleitung und Problemstellung

Über die spektrale Energieverteilung der Röntgen-Bremsstrahlung dünner Antikathoden — speziell unter einem Azimutwinkel von 90° — liegen bis heute nur die Messungen von Duane (Proc. Nat. Acad. Amer. **14**, 450, 1927), Kulenkampff (Ann. Phys. **87**, 597, 1928) und Nicholas (Bur. of Stand. Journ. of Res. **2**, 837, 1929) vor. Ihre Messungen ergaben sowohl für dünne Al- und Au-Antikathoden — wie sie Kulenkampff und Nicholas benutzten als auch für den von Duane als Antikathode verwendeten Hg-Dampfstrahl in den untersuchten Energiebereichen die einfache Spektralformel der Intensitätsverteilung der Röntgen-Bremsstrahlung $i_\nu = \text{const}$.

Theoretisch wurde das Problem von Sommerfeld und seinen Schülern (Ann. Phys. **11**, 257, 1931) befriedigend gelöst. Eine genaue Überprüfung dieser Theorie war bis heute nicht möglich.

Aufbauend auf die Arbeiten von Cockroft und Mitarbeiter (Phil. Mag. **40**, 36, 53, 522, 929, 1949) wird in dieser Arbeit mit Hilfe eines Proportional-Zählrohres die Abhängigkeit der Intensitätsverteilung der Röntgen-Bremsstrahlung dünner Antikathoden von Ordnungszahl und Röhrenspannung unter einem Winkel von 90° zum Elektronenstrahl genauer untersucht.

Die Meßanordnung

Die zu den Messungen verwendete Röntgenröhre nebst Hochspannungsanlage wurden schon in der Arbeit von Kulenkampff und Mitarbeiter (Ztsch. Phys. **137**, 435, 1954) beschrieben. Die Welligkeit der Hochspannung war bei einer Belastung von 10^{-7}—10^{-6} Amp und einer Siebkapazität von 0,025 μF vernachlässigbar klein. Zur Messung der Hochspannung diente ein durch Isochromatenmessung der Röntgen-Bremsstrahlung einer massiven Antikathode geeichtes statisches Voltmeter nach Starke-Schröder. Die Kathode der Röntgenröhre wurde mit einem

6 Volt Autoakku geheizt. Der Röhrenstrom konnte mit einem Zeigergalvanometer (10^{-8} Amp/mm/m) gemessen werden.

Unter einem Proportionalzählrohr versteht man ein Ionisationszählrohr, dessen Impulse proportional der Energie des absorbierten Teilchens sind. Das zu den Messungen benutzte Proportionalzählrohr ist eine Weiterentwicklung des schon von Cockroft verwandten Zählrohres. Als Zählrohrkörper dient ein Kupferrohr von 31 cm Länge, 10 cm Innendurchmesser und 0,3 cm Wandstärke. In beide Enden des Rohres sind Kupferplatten vakuumdicht eingelötet, die in ihrer Mitte je einen Ansatzstutzen tragen. Durch letztere sind sowohl die Feldelektroden als auch die Schutzelektroden isoliert in das Zählrohr eingeführt. Der Zweck der Feldelektroden ist, die von den Zähldrahthalterungen hervorgerufenen Feldverzerrungen des Radialfeldes im Zählrohr zu beseitigen und damit über die ganze „sichtbare" Länge des Zähldrahtes ein ungestörtes Radialfeld aufrecht zu erhalten. Durch einen der beiden Ansatzstutzen wird der Zähldraht ($5 \cdot 10^{-3}$ cm Durchmesser) isoliert, zum Anschluß an den Vorverstärker aus dem Zählrohr herausgeführt. Das Strahleintrittsfenster des Zählrohres ist mit einer Folie aus Reinaluminium (5,4 mg/cm²) verschlossen. Die Füllung des Zählrohres besteht aus 720 Torr Argon und 20 Torr C_2H_5OH. Die Zählrohrspannung wird einem selbstgebauten Hochspannungsgerät (Spannungskonstanz 1‰) entnommen.

Die Zählrohrimpulse werden dann mit einem Linearverstärker auf maximal 50 Volt Amplitudenhöhe verstärkt und auf die Ablenkplatten eines Braunschen Rohres gegeben. Die Bewegungen des Leuchtpunktes auf dem Schirm des Braunschen Rohres hält man mit einem Kymographen auf Röntgen-Fluorapidfilm fest. Zur Auswertung werden die Filmstreifen auf einen Schirm, der in 50 Amplitudenintervalle von je 1 cm Höhe unterteilt ist, projiziert und die in die einzelnen Intervalle fallenden Impulsspitzen ausgezählt. Aus diesen Impulszahlen pro Intervall wird das Strahlungshistogramm aufgebaut. Die Zuordnung der Quantenenergie zu der gemessenen Impulshöhenverteilung geschieht mit der Ag-K_α-Linie. Dazu nimmt man nach jeder Meßreihe des Kontinuums der Röntgen-Bremsstrahlung der dünnen Antikathode eine kurze Meßreihe der mit einem Pd-Filter ausgesonderten Ag-K_α-Linie einer massiven Silberantikathode auf. Da die Quantenenergie der Ag-K_α-Strahlung 22,5 keV ist und die mittlere Impulshöhe der Strahlung durch die obige Auswertemethode gewonnen wird, läßt sich die gewünschte Zuordnung sauber ausführen. Der hierbei auftretende Fehler liegt in der Größenordnung von 1%.

Die dünnen Antikathoden wurden durch Bedampfen der Trägerfolien aus Kollodium mit den drei Metallen Aluminium, Nickel und Zinn im Hochvakuum hergestellt. Die Dicken der aufgedampften Metallschichten wurden optisch durch Messung der Absorption der blauen Hg-Linie eines Hg-Bogens bestimmt.

Die Messung der Röntgenspektren

Die zu den Messungen verwendete Röntgenröhre war so konstruiert, daß die Röntgenstörstrahlung der massiven Röhrenteile die Meßergebnisse nicht verfälschen konnte.

Beim Proportionalzählrohr tritt zu den sonst bei Strahlungsmessungen üblichen Korrekturen noch eine wesentliche neue Korrektur hinzu. Das durch die beschriebene Auswertemethode gewonnene Strahlungshistogramm gibt wegen des begrenzten röntgenoptischen Auflösungsvermögens des Zählrohres nicht die wirkliche Intensitätsverteilung der Röntgen-Bremsstrahlung der dünnen Antikathode wieder. Das Proportionalzählrohr registriert ja jede monochromatische Strahlung in Form einer Gaußkurve mit einer Halbwertsbreite $\pm \Delta E$ um den Energiewert der einfallenden Strahlung. Dadurch werden aber auch steile Flanken des wirklichen Spektrums verflacht und zwar um so mehr, je steiler sie sind. Man muß also aus dem gemessenen Histogramm mit Hilfe des bekannten röntgenoptischen Auflösungsvermögens des Zählrohres das wirkliche Spektrum erst errechnen.

Bei Aluminium (Z=13, effektive Dicke der Metallschicht 360 ± 10 AE) und Nickel (Z=28, 100 ± 5 AE) ist kein wesentlicher Unterschied im Verlauf der Spektren beider Metalle bei den drei Röhrenspannungen 25, 34 und 40 kV zu finden. Der Intensitätsverlauf von der Grenzfrequenz ν_0 bis etwa $\nu_0/3$ kann in guter Übereinstimmung mit der Sommerfeldschen Theorie durch den einfachen Ansatz $i_\nu = \text{const.}$ dargestellt werden. Nur bei kleineren Frequenzen steigt die gemessene Intensität steiler an als nach Sommerfeld zu erwarten wäre. Auch die absoluten Intensitätswerte (erg $\sec^{-1}$ cm^{-2}), Röhrenspannung 34 kV, stimmen sehr gut mit den aus der Sommerfeldschen Theorie errechneten Werten überein. Bei einer freitragenden, 460 AE dicken Aluminiumfolie — die Kollodiumschicht war hier weggelöst — zeigte es sich, daß im horizontalen Bereich des Spektrums die gemessenen Intensitätswerte etwa 10—15% über den berechneten Werten lagen. Die Diskrepanz läßt sich daraus erklären, daß sich die dünne Al-Schicht an Luft sofort mit einer etwa 25 Atomlagen starken Al_2O_3-Haut überzieht und dieser zusätzliche Anteil Sauerstoff, der bei der optischen Schichtdickenbestimmung nicht miterfaßt wird, einen kleinen zusätzlichen Betrag an Intensität liefert. Genaue Angaben über die Größe dieses Beitrages sind nicht möglich. Die Existenz des von der Theorie geforderten Intensitätssprunges an der kurzwelligen Grenze des Spektrums von endlichen Werten auf den Wert Null, kann mit dem Proportionalzählrohr nicht überprüft werden, da eine solche Aussage außerhalb der Meßgenauigkeit der Methode liegt.

Der schon von Kulenkampff eingehend untersuchte Isochromatenverlauf (prop. 1/U; U = Röhrenspannung) kann bei voller Berücksichti-

gung der Fehlergrenzen für die beiden Metalle Al und Ni bestätigt werden. Ferner ergibt ein Intensitätsvergleich dieser beiden Metalle, daß die Gesamtintensität etwa proportional dem Quadrat der Ordnungszahl zunehmen muß.

Im Röntgen-Bremsspektrum von Zinn ($Z = 50$, 55 ± 5 AE, Röhrenspannungen 25 und 34 kV) tritt infolge der Abschirmung des Kernfeldes durch die Elektronenschalen die erwartete relative Abnahme der Intensität bei kleinen Quantenenergien auf. Der Intensitätsverlauf ist nicht mehr durch $i_\nu = \text{const.}$ darstellbar. Ein relativer Vergleich des gemessenen Intensitätsverlaufes mit dem von Kirkpatrick und Wiedman (Phys. Rev. **67**, 321, 1945), sie berücksichtigen die Abschirmung, ergibt eine schlechte Übereinstimmung. Die theoretische Kurve steigt von ν_0 bis $0{,}4\,\nu_0$ um etwa 10% des Intensitätswertes an der Grenzfrequenz an, während die gemessene Kurve im gleichen Intervall um 10% fällt, um dann bei kleinen Quantenenergien wieder leicht anzusteigen. Ein absoluter Intensitätsvergleich oder eine Aussage über den Isochromatenverlauf bei Zinn ist nicht möglich, da ein Teil der Zinnschicht im Elektronenstrahl abgetragen wird und die verbleibende Schichtdicke im Augenblick der Messung nicht zu bestimmen ist.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549822_0196